ITEM 180 : RISQUES PROFESSIONNELS LIÉS À L'IRRADIATION – RADIOPROTECTION

GÉNÉRALITÉS

Radioactivité

- Phénomène **naturel**
- Il existe des substances radioactives **naturelles** (uranium) ou **artificielles** (plutonium)
- Instabilité de certains atomes (= **radioéléments**) de la matière, qui émettent des **rayonnements ionisants** (Interagissent avec la matière en lui enlevant un ou plusieurs électrons) :
  . **Alpha α** : faible pénétration (cm) (protection : couche cornée de la peau, feuille de papier)
  . **Béta β** : pénétration limitée (mètres) (protection : feuille d'aluminium, plexiglas)
  . **Gamma γ** : pénétration importante (centaines de mètres) (protection : béton, acier, plomb)
  . **X** : pénétration importante (centaines de mètres) (protection : béton, acier, plomb)
  . **Neutronique** : pénétration importante (centaines de mètres) (protection : écrans de paraffine)
- Les rayonnements peuvent être **directement ionisants** (électrons, positons, protons) ou **indirectement ionisants** (photons, neutrons)

Origine

Naturelle (2/3)	= 1 à 3 mSv/an en moyenne : variable selon les lieux d'habitation - Origine : **cosmique, tellurique, liée au radon** (1/3 de l'exposition), **aliments** et **boissons**
Artificielle (1/3)	= 1 mSv/an en moyenne : nombreuses disparités selon les individus - Origine : 90% médicale (diagnostique [faibles doses] ou thérapeutique [fortes doses]), ou militaire/industrielle (Tchernobyl, Fukushima)

Grandeurs et unités

Activité (A)	- Quantifiée en **Becquerel** (Bq), 1 Bq = 1 désintégration d'atome/seconde
Dose absorbée (D)	- Quantifiée en **Grays** (Gy), énergie absorbée par unité de masse de matière - Ne tient compte ni du type de rayonnement, ni de la sensibilité des tissus - Dose (Gy) = énergie (Joules) / Masse (kg) - 1 Gy = **1 Joule/kg**
Dose équivalente (Ht)	- Quantifiée en **Sievert** (Sv) - Dose équivalente = Dose absorbée x Facteur de pondération radiologique (**W_R**) - **Facteur W_R** lié au **pouvoir irradiant du rayonnement** : **rayons α** (les plus irradiants, = facteur 20) > **neutrons** et **protons** > **rayons X** et **γ** (= facteur 1) - Dose équivalente **« engagée »** quand incorporation dans l'organisme de radioéléments jusqu'à leur élimination complète
Dose efficace (E)	- Quantifiée en **Sievert** (Sv) - Somme des doses équivalentes pondérées par un **facteur tissulaire W_T**, pour estimer les vraies conséquences biologiques, avec sommes de W_T (irradiation corps entiers) = 1 - Grandeur sans réalité physique ni sens biologique, mais utile en **radioprotection**
Radiodiagnostic	Utilisation de grandeurs opérationnelles : - **Produit Dose x Surface** (PDS) en imagerie de projection (mGy/cm^2) - **Index de dose scannographique volumique** (IDSV/CTDI) en TDM - **Produit Dose x Longueur** (PDL) en mGy/cm = dose totale reçue par le patient → PDS et PDL permettent d'estimer ou calculer la **dose efficace**

Définitions

- **Rayonnement primaire** : émis spontanément par une source radioactive
- **Rayonnement secondaire** : résulte de l'interaction des rayonnements primaires avec la matière
- **Activité** : émission de rayonnements par une substance radioactive ; diminue avec le temps
- **Période radioactive** : durée au bout de laquelle le nombre de noyaux instables dans un échantillon radioactif aura décru de moitié
- *Exemples : 8 jours pour l'iode 131, 5737 ans pour le carbone 14, 4 milliards d'années pour l'uranium 238*

EXPOSITION

Modes d'exposition		3 modes, avec une influence directe sur la nature et l'importance des effets sur l'organisme : - **Irradiation** = exposition externe sans contact cutané, source extérieure à l'organisme - **Contamination externe** = exposition externe par contact cutané - **Contamination interne** = pénétration de substances radioactives par : . Inhalation (gaz, aérosols) . Ingestion . Voie oculaire . Voie percutanée (altération cutanée, plaie) La majorité des expositions d'origine professionnelle sont des expositions externes L'exposition reçue par l'organisme dépend : . De la nature des rayonnements ; . De la distance à la source ; . De la durée d'exposition ; . De l'épaisseur et de la composition des écrans éventuels.
Risques biologiques	**Effets biologiques**	- Par **transfert d'énergie** des rayonnements ionisants vers la matière = ionisation des molécules (**radiolyse**), **altérations de l'ADN** (simples brins ou doubles brins) - Lésions mal réparées de l'ADN -> empêchent la reproduction cellulaire, ou entraînent la mort cellulaire (nb cellules tuées directement proportionnel à la dose reçue par la matière vivante) +/- conséquences à long terme (cancers) - Importance et nature des lésions cellulaires dépendent : . Du mode d'exposition . De la nature des rayonnements . De la dose (en gy) . Du débit de la dose reçue . Du volume irradié . De certains facteurs physiques ou chimiques influant sur la sensibilité cellulaire (température, oxygène) . Du type des cellules exposées (cellules avec un fort potentiel de multiplication sont plus radiosensibles)
	Effets déterministes	- **Obligatoire** : certitude d'apparition au-dessus d'un seuil **> 200 mGy**, **gravité** augmente avec la dose et le débit de dose - **Survenue rapide** après l'exposition, avec une phase de latence, liés à la mort cellulaire **par effet toxique direct sur l'ADN** (**radiolyse de l'eau** avec formation de **radicaux libres oxydants**) - Traduction clinique spécifique pour des **doses élevées** (accidentelles ou en radiothérapie) - Dépendent de la **radiosensibilité** des cellules (↗ par un nombre de mitoses élevées ou une faible différenciation) : **moelle osseuse**, **muqueuses digestives et ORL, peau** et **gonades** ++
	Effets probabilistes	- **Aléatoire** ou **stochastique** : sans dose seuil, **probabilité de survenue** proportionnelle à la dose, gravité indépendante de la dose - Irréversible, non spécifiques, d'apparition retardée - Survenue **à distance de l'exposition**, liée à l'altération cellulaire (mauvaise réparation de l'ADN) - Responsables d'une surincidence de cancers - Exposition en **Sievert (Sv)** : risques démontrés pour des doses **> 100 mSv**, inconnus en dessous (RLSS – **Relation Linéaire Sans Seuil** appliqué en radioprotection aux travailleurs) - Pathologie : **leucémie, tumeur solide** (osseuse, bronchique, thyroïde)

RADIOPROTECTION

Définition

= ensemble des mesures mises en œuvre pour **se protéger des effets néfastes** reconnus ou potentiels des rayonnements ionisants
- Concept global visant à assurer un niveau de protection adéquat pour l'homme sans pénaliser les pratiques bénéfiques qui exposent aux rayonnements ionisants
- Constituée d'éléments scientifiques objectifs et d'éléments règlementaires
- Préoccupation permanente associée à l'activité professionnelle de tout médecin
- Concerne les patients, les personnels exposés professionnellement, mais également le public et l'environnement
- Repose sur **trois principes** (directive EURATOM) : **justification, optimisation, limitation** de doses

Principes

Justification

- Bonne indication de l'utilisation des rayons ionisants (bénéfice > risque radiologique)
- Activité ne peut être entreprise que si elle est justifiée par les avantages qu'elle procure rapportés aux risques inhérents à l'exposition aux rayonnements ionisants

→ Dans le domaine médical :
. Utilisation du **guide du bon usage des examens d'imagerie** (gbu.radiologie.fr)
. Connaissance des indications des principaux examens
. **Substitution** d'un examen exposant aux rayonnements ionisants par un examen non-exposant

Optimisation

= ALARA, ***« as low as reasonably achieveable »***
- Mise en œuvre une fois la justification établie
- **Formation à la radioprotection** (travailleur, patient) obligatoire pour tous les professionnels exposés
- Patient exposé à un examen irradiant : délivrer la dose la plus basse possible tout en permettant d'obtenir l'information médicale requise

Limitation des doses individuelles

- Respecter les valeurs limites réglementaires (sauf exposition à des fins médicales ou recherche biomédicale) : exclure les effets déterministes, réduire les effets stochastiques
- **Ne s'applique pas aux patients** : pas de limite règlementaire dans le domaine médical ; bénéfices >> risques si examen justifié et qualité suffisante au diagnostic
- Limites varient en fonction des catégories de population, exprimées par des valeurs limites annuelles de dose efficace (corps entier)

. *Pour le public* : ***1 mSv/an*** *(indépendamment de l'irradiation d'origine naturelle et des examens médicaux éventuels)*
. *Pour les travailleurs* :
- ***Catégorie B*** *(possiblement exposé à un rayonnement)* et ***étudiants*** *:* ***< 6 mSv/an***
- ***Catégorie A*** *(exposition directe aux rayonnements) :* ***< 20 mSv/an*** *et* ***1 Sv/vie entière***

Information des patients

- Nécessaire réassurance des patients : doses reçues sur le plan médical << niveaux d'exposition naturelle
- **Imagerie médicale diagnostique** : dose < 100 mSv (pas d'effets déterministes, pas d'augmentation incidence cancers) ; balance bénéfices/risques favorable -> réassurance
- **Médecine nucléaire diagnostique** : pas de mesures d'éviction particulière (doses cumulées < 1 mSv)
- **Radiologie interventionnelle** : +/- suivi cutané si fortes doses de rayonnements délivrés (érythème, alopécie voire lésions cutanées plus graves)
- **Imagerie pédiatrique** : forte radiosensibilité des enfants (justification et optimisation, avec substitution)
- **Grossesse** : effets des rayonnements ionisants sur l'embryon et le fœtus sont de 2 ordres :
  . Malformations (tératogénicité) -> effets déterministes ; différents seuils connus (le plus faible seuil à 200mGy)
  . En pratique : évaluation de la dose délivrée à l'utérus si exposition aux rayonnements ionisants intéressant l'abdomen et le pelvis et de grossesse méconnue (rassurant ++ dans majorité des cas)

Secteurs d'activités concernés

→ **Secteur médical** : radiothérapie, radiodiagnostic, médecine nucléaire
→ **Industrie nucléaire** : traitements des déchets, combustible
→ **Secteurs industriels** : conservation des aliments, contrôle de soudure
→ **Laboratoires de recherche et d'analyse**

<table>
<tr><td rowspan="2"></td><td>Prévention en milieu professionnel</td><td colspan="2">**Réglementation stricte** pour la protection des travailleurs, du public et de l'environnement, protection des patients, protection des personnels, etc.
- **Signalisation du risque ambiant** : nécessité d'un repérage rigoureux des zones à risque d'exposition et des sources
- **Confinement des matières radioactives**
- Assainissement et traitement de l'atmosphère des locaux de travail
- **Limitation de l'exposition** aux rayonnements ionisants provenant de sources radioactives (collimateurs ou écrans, travail à distance, exposition directe évitée, délimitation de zones, réduction le plus possible des doses, suivi dosimétrique, etc.)
- **Classement du personnel** selon son exposition aux rayonnements ionisants (aide à la détermination des conditions de surveillance radiologique et médicale)
- Désignation d'un **conseiller en radioprotection**
- **Information et formation** des personnes susceptibles d'être exposées
- **Surveillance médicale** des personnes exposées</td></tr>
<tr><td rowspan="2">*Femmes enceintes*</td><td colspan="2">- Tous les travailleurs exposés doivent être informés des effets des rayonnements ionisants sur la santé, et notamment sur l'embryon
➝ Limiter l'exposition de l'enfant à naître à **1 mSv** pour la période entre déclaration de grossesse et accouchement
- Maintien impossible des femmes allaitantes à un poste avec risque de contamination interne
- Irradiation < 100 mSv : aucun risque démontré
- **Irradiation > 200 mSv** : **risque tératogène** prouvé ➝ proposer une **interruption thérapeutique de grossesse**</td></tr>
<tr><td>Risque</td><td>**Dommage principal = retard mental**
Risque négligeable pour dose reçue inférieure ou égale à 0,1 Gy (100mSv)</td></tr>
</table>